



**SKRIPSI – TK091383**

**PREPARASI LAPISAN TIPIS ZnO DENGAN METODE  
ELEKTRODEPOSISI UNTUK APLIKASI  
DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)**

**Oleh:**

**Mohammad Rohmad W  
2310 100 027**

**Salman Faris  
2310 100 141**

**DOSEN PEMBIMBING:**

**Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng  
NIP. 1967 02 03 1991 02 1001**

**Ir. Minta Yuwana, MS  
NIP. 1951 10 02 1978 03 1001**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2015**



**FINAL PROJECT – TK091383**

**PREPARATION OF ZnO THIN FILM BY  
ELECTRODEPOSITION METHOD FOR  
DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) APPLICATION**

**Author:**

**Mohammad Rohmad W  
2310 100 027**

**Salman Faris  
2310 100 141**

**ADVISOR:**

**Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng  
NIP.1967 02 03 1991 02 1001**

**Ir. Minta Yuwana, MS  
NIP. 1951 10 02 1978 03 1001**

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2015**

## LEMBAR PENGESAHAN

### "PREPARASI LAPISAN TIPIS ZnO DENGAN METODE ELEKTRODEPOSISI UNTUK APLIKASI DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)"

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

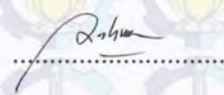
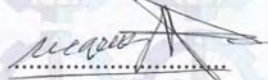
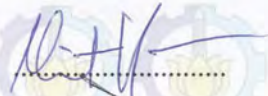
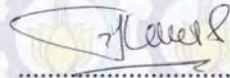
Oleh :

**Mohammad Rohmad W  
Salman Faris**

**NRP. 2310 100 027  
NRP. 2310 100 141**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng  
(Pembimbing)
2. Ir. MintaYuwana, M.S.  
(Pembimbing)
3. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng  
(Penguji I)
4. Dr. Yeni Rahmawati, ST., MT.  
(Penguji II)



Surabaya, Januari 2015

## **PREPARASI LAPISAN TIPIS ZnO DENGAN METODE ELEKTRODEPOSISI UNTUK APLIKASI DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)**

**Nama** : Mohammad Rohmad (2310 100 027)  
Salman Faris (2310 100 141)  
**Jurusan** : Teknik Kimia FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng  
Ir. Minta Yuwana, MS.

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan mengevaluasi pengaruh dari potensial yang diaplikasikan saat elektrodeposisi terhadap morfologi dan karakteristik lapisan ZnO yang terbentuk, serta mempelajari pengaruh pewarnaan dengan antosianin dari ekstrak kulit terong terhadap sifat *photovoltaic*. Proses elektrodeposisi dilakukan dengan 3 elektroda yaitu, elektroda kerja berupa Cu dan ITO Glass, elektroda lawan berupa platina dan elektroda pembanding berupa Ag/AgCl. Media elektrolit yang digunakan berupa larutan campuran 5 mM ZnCl<sub>2</sub> dan 0,1 M KCl dalam air demin, dengan volume total 600 ml. Larutan diinjeksi dengan oksigen hingga mencapai DO 16,5 mg/L, selanjutnya dilakukan elektrodeposisi selama 30 menit. Elektrodeposisi dilakukan pada berbagai potensial yaitu -0,5V; -0,75V; -1V; -1,25V dan -1,5V vs Ag/AgCl. Kemudian nilai konduktivitas dari elektroda kerja diamati secara *Chrono Amperometry* dengan menggunakan Autolab 302N, Metrohm. Selanjutnya dianalisa reaksi yang terjadi pada elektrolit dengan *Cyclic Voltmetry*. Lalu untuk hasil lapisan ZnO yang telah terbentuk diamati dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Besar hambatan listrik dengan metode uji *resistivity 4 probe*. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan potensial saat elektrodeposisi memberikan pengaruh terhadap proses pelapisan dan morfologi dari ZnO. Pada potensial rendah, proses pelapisan akan berlangsung lambat menghasilkan ZnO yang *porous* dan



merata. Semakin tinggi potensial yang diaplikasikan maka proses pelapisan akan semakin cepat dan ZnO yang terbentuk akan semakin tebal. Hasil lapisan yang memiliki nilai resistansi terkecil adalah ZnO pada potensial -1,5V vs Ag/AgCl.

**Kata kunci:** Elektrodeposisi, lapisan ZnO, *Dissolved Oxygen*, ITO Glass.

## **PREPARATION OF ZnO THIN FILM BY ELECTRODEPOSITION METHOD FOR DYE- SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) APPLICATION**

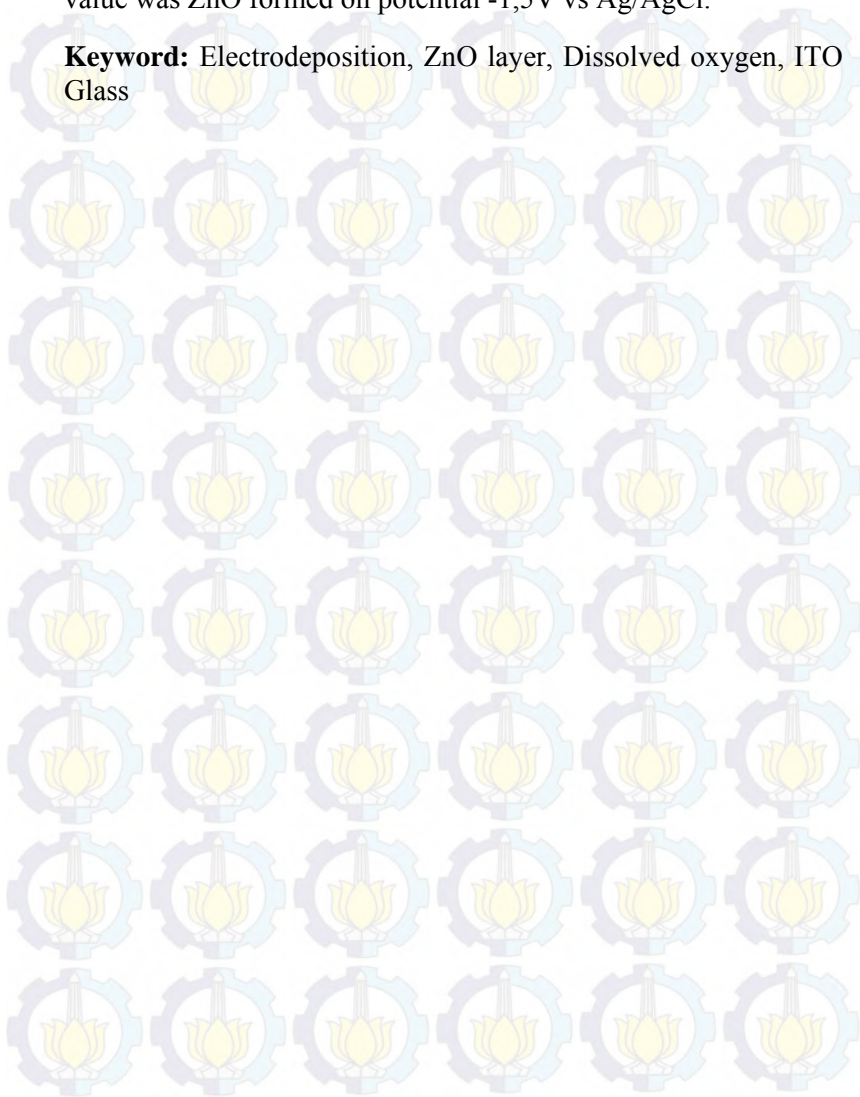
**Nama** : Mohammad Rohmad (2310 100 027)  
Salman Faris (2310 100 141)  
**Jurusan** : Teknik Kimia FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng  
Ir. Minta Yuwana, M.S

### **ABSTRACT**

The purposes of this research are to study and to evaluate the effect of applied potential of electrodeposition to morphology and characteristic of ZnO layer formed, also effect of anthocyanin dye-coloring from extract of purple eggplant peels to photovoltaic characteristic. Electrodeposition carried out with 3 electrodes which, working electrode was ITO Glass, Counter electrode was platinum, and reference electrode was Ag/AgCl. Electrolyte media containing 5 mM  $\text{ZnCl}_2$  and 0,1 M KCl in demineralized water, with total volume 600 ml. Electrolyte injected with oxygen until dissolved oxygen value reach 16,5 mg/L, electrodeposition was conducted for 30 minutes. Electrodeposition carried out in several potentials, -0,5V; -0,75V; -1V; -1,25V and -1,5V vs Ag/AgCl. The conductivity of working electrode can be analyzed with chronoamperometry method with Autolab 302N, Metrohm. The reaction of electrolyte can be analyzed with Cyclic Voltammetry. Morphology of ZnO layer formed was observed with *Scanning Electron Microscopy* (SEM). The amount of electrical resistance were analyzed with 4 probe resistivity method. The result shows that the applied potential of electrode have an effect on coating process and morphology of ZnO layer formed. On low potential, coating process was slow which formed porous and homogeny ZnO layer. More higher potential applied, the ZnO coating process become more faster and the

layer become thicker. The layer which have lowest resistance value was ZnO formed on potential -1,5V vs Ag/AgCl.

**Keyword:** Electrodeposition, ZnO layer, Dissolved oxygen, ITO Glass



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunia dan rahmat-Nya semata, penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi yang berjudul ***Preparasi Lapisan Tipis ZnO dengan Metode Elektrodeposisi untuk Aplikasi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*** dan menyelesaikan laporan ini tepat pada waktunya.

Selama penyusunan laporan ini, penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan, dorongan, serta bantuan dari pihak lain. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua atas segala doa, bimbingan, dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng selaku kepala laboratorium Elektrokimia dan Korosi atas segala bimbingan dan saran yang telah diberikan.
3. Bapak Ir. Minta Yuwana, M.S selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Triwidjaja, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia ITS.
6. Rekan-rekan Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia ITS.
7. Teman-teman K50 atas bantuan, saran, kritik dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan penulis.

**Surabaya, Januari 2015**  
**Penulis**



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Penelitian .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC).....	5
2.2 Semikonduktor dan Fotokatalis .....	6
2.3 Elektrodeposisi .....	8
2.4 Lapisan Tipis ZnO .....	10
2.5 Mekanisme Pembentukan Lapisan Tipis ZnO.....	10
2.6 Cyclic Voltammetry (CV) .....	11
2.7 Uji Resistivity dengan Metode Four Point Probes .....	13
2.8 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya.....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Gambaran Umum .....	17
3.2 Alat dan Bahan .....	17
3.3 Prosedur Penelitian.....	17
3.3.1 Pencucian ITO Glass .....	17
3.3.2 Pelapisan ZnO pada ITO Glass.....	18

3.3.3 Ekstraksi Antosianin dari Kulit Terong Ungu dan Pewarnaan ITO Glass .....	19
3.3.4 Preparasi Larutan Elektrolit .....	19
3.3.5 Pembuatan Dye Sensitized Solar Cell .....	19
3.3.6 Karakterisasi Produk .....	20
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Elektrodeposisi ZnO pada Lempengan Tembaga .....	23
4.1.1 Hasil Tembaga yang Telah Dielektrodeposisi .....	23
4.1.2 Mekanisme pembentukan lapisan ZnO pada Elektroda Tembaga .....	26
4.1.3 Resistivitas dari Elektroda Tembaga yang Telah Dielektrodeposisi .....	30
4.2 Elektrodeposisi ZnO pada ITO Glass .....	31
4.2.1 Hasil ITO Glass yang Telah Dielektrodeposisi .....	31
4.2.2 Mekanisme pembentukan lapisan ZnO pada Elektroda ITO Glass .....	32
4.2.3 Resistivitas dari Elektroda ITO Glass yang Telah Dielektrodeposisi .....	34
4.3 Analisa Lapisan ZnO pada Elektroda .....	36
4.4 Analisa Arus dan Tegangan pada DSSC .....	37
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	43
5.2 Saran .....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xiii</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya .....14

Tabel 4.1 Nilai Resistansi Elektroda Tembaga .....30

Tabel 4.2 Nilai Resistansi Elektroda ITO Glass.....34

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Semiconductor Band Structure.....	7
Gambar 2.2	(a) Pembentukan lapisan Zn(OH) <sub>2</sub> (b) Pembentukan ZnO inti (c) Pembentukan nanocrystal ZnO .....	10
Gambar 2.3	Voltammogram .....	12
Gambar 2.4	Skema Uji Resistivity Four Point Probes .....	13
Gambar 3.1	Skema Peralatan yang Digunakan untuk Elektrodeposisi .....	18
Gambar 3.2	Struktur susunan sandwich DSSC.....	20
Gambar 4.1	a) Kondisi awal Cu sebelum di elektrodeposisi, dibagian bawah adalah hasil elektrodeposisi pada berbagai potensial (V) berturut-turut adalah b) -0,5V; c) -0,75V; d) -1V; e) -1,25V; dan f) -1,5V. Seluruh variabel potesial dibandingkan elektroda Ag/AgCl... ..	24
Gambar 4.2	Foto SEM permukaan Tembaga yang telah dilapisi ZnO dengan elektrodeposisi pada potensial (a) -0,5V; (b) -0,75; (c) -1V; (d) -1,25V; dan (e) -1,5V (vs Ag/AgCl) .....	25
Gambar 4.3	Grafik <i>Chrono Amperometry</i> pada berbagai pontensial (-0,5 V hingga -1,5V vs Ag/AgCl.....	27
Gambar 4.4	Grafik <i>Chrono Amperometry</i> Elektroda Tembaga pada saat Elektrodeposisi pada -0,5V.....	28
Gambar 4.5	Voltammogram pada Berbagai Titik Elektrodeposisi a) titik 1, b) titik 2, c) titik 3, d) titik 4 .....	29
Gambar 4.6	Mekanisme Proses Pelapisan ZnO pada Elektroda.....	29
Gambar 4.7	ITO Glass (a) sebelum elektrodeposisi; hasil elektrodeposisi pada berbagai potensial (V) berturut-turut adalah (b) -0,5V; c) -0,75V; (d) -1V; (e) -1,25V; dan f) -1,5V (vs Ag/AgCl).....	32



Gambar 4.8	Grafik <i>Chrono Amperometry</i> Elektrodeposisi ITO Glass pada pontensial -0,5 V hingga -1,5V vs Ag/AgCl selama 30 menit .....	33
Gambar 4.9	Hasil Analisa EDAX Elektroda Tembaga yang Dielektrodeposisi pada Potensial -1V vs Ag/AgCl.....	35
Gambar 4.10	Hasil Uji XRD Elektroda Tembaga yang Dielektrodeposisi pada Potensial -1V vs Ag/AgCl dalam Berbagai Kondisi DO .....	36
Gambar 4.11	DSSC menggunakan ITO Glass Hasil Pelapisan pada Potensial -1V vs Ag/AgCl .....	37
Gambar 4.12	Grafik Arus terhadap Potensial pada DSSC dengan berbagai Intensitas Cahaya.....	38
Gambar 4.13	Grafik Daya yang Dihasilkan Terhadap Potensial pada DSSC dengan Berbagai Intensitas Cahaya ..	39
Gambar 4.14	Grafik Nilai Efisiensi DSSC Terhadap Intensitas Cahaya yang Digunakan.....	40
Gambar 4.15	Nilai <i>Fill Factor</i> DSSC pada Berbagai Intensitas Cahaya.....	41
Gambar 4.16	Nilai IPCE dari DSSC pada Panjang Gelombang 627 pada berbagai Intensitas Cahaya nm. ....	42



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Keterbatasan sumber energi ditengah semakin meningkatnya kebutuhan energi dunia dari tahun ketahun, serta untuk melindungi bumi dari pemanasan global dan polusi lingkungan membuat tuntutan untuk segera mewujudkan teknologi baru bagi sumber energi terbarukan. Upaya pencarian sumber energi terbarukan sebaiknya memenuhi syarat yaitu menghasilkan jumlah energi yang cukup besar, biaya ekonomis dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu pencarian tersebut diarahkan pada pemanfaatan energi matahari baik secara langsung maupun tidak langsung dengan menggunakan *solar cell* yang dapat merubah energi matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* tanpa adanya hasil samping berupa gas-gas berbahaya dan sampah-sampah nuklir (Cahen, 2004). *Solar cell* terdiri dari beberapa sel dan jenisnya beragam. Penggunaan *solar cell* telah banyak di gunakan di negara-negara berkembang dan negara maju dimana pemanfaatannya tidak hanya pada lingkup yang kecil tetapi sudah banyak digunakan untuk keperluan industri sehingga energi matahari dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif.

Kebanyakan *solar cell* yang tersedia di pasaran terbuat dari material silikon. Pemanfaatan silikon sebagai material pembuat *solar cell* karena ketersediaannya yang mudah didapatkan di alam dan puncak penyerapan silikon sangat mendekati dengan puncak spektrum cahaya matahari. Namun, kelemahan dari penggunaan material silikon adalah daya serap cahaya yang rendah. Sehingga pada awal teknologi *solar cell* muncul seringkali menggunakan kristal silikon yang mencapai ketebalan beberapa ratus micron. Hal ini membuat produksi *solar cell* dengan material silikon memerlukan biaya yang mahal.



Dalam beberapa tahun terakhir, ZnO mendapatkan perhatian khusus sebagai material dengan berbagai manfaat, salah satunya sebagai bahan pembuatan *solar cell*, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti material silikon. ZnO dipilih karena merupakan bahan semikonduktor dengan celah pita yang rentangnya lebar (3,37 eV) pada suhu ruangan, dan energi untuk mengikat exciton yang besar (60 meV). Exciton adalah kondisi dimana suatu ikatan elektron dan lubang elektron. Selain itu, ZnO juga merupakan material yang aman, *biocompatible* dan *biodegradable* (Jun Yang, 2014).

Pada umumnya ZnO didapatkan dengan menggunakan metode penumbuhan fase gas pada suhu tinggi dan tekanan sangat rendah, sehingga aplikasinya akan membutuhkan biaya yang tinggi. Pauporte, dkk (2009) berhasil melakukan pelapisan ZnO pada suhu ruang (25°C) dengan menggunakan metode elektrodeposisi menggunakan larutan ZnCl yang di injeksi dengan oksigen. Keberadaan oksigen merupakan kunci untuk dapat membuat ZnO terbentuk pada suhu ruangan. Metode elektrodeposisi ini dinilai memiliki kelebihan karena memungkinkan untuk mengatur ketebalan lapisan dengan mudah, aplikasi yang sederhana, membutuhkan biaya operasi yang relatif lebih murah dan memungkinkan untuk membuat lapisan permukaan yang luas.

Lapisan ZnO ini nantinya dilapisi dengan material fotoelektrokimia dan diberikan pewarna sehingga menjadi *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*. Pemberian pewarna pada *solar cell* ini bertujuan untuk meningkat sensitifitas penyerapan cahaya matahari, sehingga energi yang ditangkap oleh *solar cell* menjadi lebih besar. Beberapa keuntungan yang ditawarkan oleh *solar cell* pewarna tersensitisasi, diantaranya adalah biaya fabrikasi yang relatif murah, dapat dioperasikan dibawah kondisi penyinaran yang terhambur, bentuk sel dapat dibuat bersifat buram/ tak tembus cahaya atau transparan optis sehingga memberikan nilai lebih dari segi artistik (Gratzel, 2003).



*Solar cell* pewarna tersensitisasi dapat menggunakan dua jenis pewarna yaitu pewarna yang berasal dari bahan organik dan anorganik. Adapun contoh pewarna dari bahan organik adalah buah juwet, pacar air, pacar kuku, blueberry, kulit manggis dan lain sebagainya. Namun, pewarna organik diatas sangat bersaing dengan kebutuhan akan makanan sehingga kurang berkembang. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan ekstrak kulit terong ungu sebagai pewarna pada DSSC. Kulit terong akan diekstraksi dengan menggunakan HCl dan Ethanol.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah apakah metode pelapisan ZnO pada suhu ruangan pada kaca ITO dapat diaplikasikan untuk pembuatan *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*.

## **1.3 Batasan Penelitian**

Batasan penelitian dalam penelitian ini adalah metode pelapisan dan pewarnaan kaca ITO dengan cara elektrodposisi suhu rendah dan kondisi oksigen jenuh pada tegangan -0,5 hingga -1,5 V vs (Ag/AgCl)

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini memiliki tujuan yaitu

1. Mempelajari dan mengevaluasi pengaruh dari potensial yang diaplikasikan saat elektrodposisi terhadap morfologi dan karakteristik lapisan ZnO yang terbentuk.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui teknik pelapisan dan pewarnaan yang sesuai pada kaca ITO untuk pembuatan DSSC.
2. Memperoleh ZnO dengan lapisan yang homogen yang dapat diaplikasikan dalam DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*).



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)***

*Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)* merupakan *solar cell* yang terbuat dari semikonduktor yang dilapisi oleh zat warna untuk meningkatkan efisiensi konversi sinar matahari. DSSC secara garis besar tersusun atas elektroda kerja, elektroda counter dan elektrolit. *Solar cell* atau sel *photovoltaic* adalah perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaiik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Pada tahun 1954 peneliti di Bell Telephone menemukan untuk pertama kali sel surya silicon berbasis p-n junction dengan efisiensi 6%. Sekarang ini, sel surya silicon mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82% dan efisiensi lab dan komersil berturut turut yaitu 24,7% dan 15% (Septina, 2007).

Berdasarkan jenis dan bentuk susunan atom-atom penyusunnya, *solar cell* dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu (Patel, dkk, 2006):

1. Monokristal (*Mono-crystalline*)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 14 - 18%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh), sehingga efisensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

2. Polikristal (*Poly-crystalline*)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikan dengan proses pengecoran. Tipe ini



memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih murah.

### 3. *Amorphous*

"Amorf" mengacu pada objek memiliki bentuk yang pasti dan tidak ada didefinisikan sebagai bahan non-kristal. Tidak seperti silikon kristal, di mana susunan atom yang teratur, fitur silikon amorf pengaturan atomnya tidak teratur. Sehingga, aktivitas timbal balik antara foton dan atom silikon lebih sering terjadi pada silikon amorf dibandingkan kristal silikon, memungkinkan lebih banyak cahaya yang dapat diserap. Dengan demikian, sebuah film silikon amorf yang sangat tipis yang kurang dari  $1\mu\text{m}$  dapat diproduksi dan digunakan untuk pembangkit listrik. Selain itu, dengan memanfaatkan logam atau plastik untuk substrat, sel surya fleksibel juga dapat diproduksi.

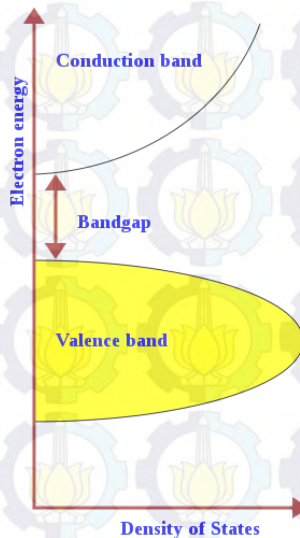
*Solar cell* jenis *amorphous* adalah *solar cell* yang dibentuk dengan mendoping material silikon di belakang lempeng kaca. Dinamakan *amorphous* atau tanpa bentuk karena material silikon yang membentuknya tidak terstruktur atau tidak mengkristal. *Solar cell* jenis ini biasanya berwarna coklat tua pada sisi yang menghadap matahari dan keperakan pada sisi konduktifnya. Pada *solar cell* jenis ini terdapat garis-garis tipis paralel di permukaannya, garis-garis ini merupakan lapisan n dan p dari substrat silikon dan menjadi batas-batas individu *solar cell* dalam panel. *Solar cell* jenis ini biasanya tanpa titik *hook-up* atau kabel yang jelas, sehingga dapat membingungkan untuk menggunakannya (Pagliaro, 2008).

## 2.2 Semikonduktor dan Fotokatalisis

Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan konduktivitas yang berada diantara insulator (isolator) dan konduktor. Semikonduktor disebut juga sebagai bahan setengah penghantar



listrik. Pita konduksi dan pita valensi memegang peranan penting dalam material semikonduktor. Jarak antara pita konduksi dan pita valensi ini dinamakan celah pita (*band gap*). Setiap benda padat memiliki struktur karakteristik energi-band masing-masing. Variasi ini dalam struktur pita berpengaruh atas berbagai karakteristik listrik yang diamati dalam berbagai bahan. Istilah "*band gap*" mengacu pada perbedaan energi antara bagian atas pita valensi dan bagian bawah pita konduksi. Elektron dapat melompat dari satu kelompok ke kelompok lainnya. Namun, saat sebuah elektron melompat dari pita valensi ke pita konduksi, membutuhkan jumlah minimum energi tertentu untuk transisi. Energi yang dibutuhkan berbeda pada setiap material yang berbeda. Elektron bisa mendapatkan energi yang cukup untuk melompat ke pita konduksi dengan menyerap baik phonon (panas) atau foton (cahaya). Fotokatalisis secara umum didefinisikan sebagai suatu reaksi kimia yang dibantu oleh adanya material katalis padat yang diaktivasi oleh adanya energi foton dari cahaya matahari.



**Gambar 2.1** *Semiconductor Band Structure*

### 2.3 Elektrodeposisi

Lapisan tipis ZnO telah menarik perhatian sebagai material yang menjanjikan untuk banyak aplikasi seperti *solar cell*, dioda laser - UV, piezoelectric, katalis dan photocatalysis, dan aplikasi *photovoltaic*. Beberapa metode yang digunakan dalam pembuatan lapisan tipis ZnO seperti radio frekuensi plasma, termal oksidasi, aktivasi reaksi evaporasi, *spray pyrolysis*, *chemical bath deposition*, elektrodeposisi.

Elektrodeposisi merupakan metode elektrokimia yang digunakan sebagai pelapisan material. Salah satu metode kompetitif yang digunakan dalam teknik pembuatan lapisan tipis karena memiliki keuntungan, yaitu: pengontrolan yang mudah ketebalan dan morfologi dari lapisan, sederhana, biaya murah, memungkinkan lapisan tipis yang luas.

Dalam bidang energi solar PV, dikenali bahwa penurunan yang signifikan dalam biaya produksi dapat dicapai jika *solar cell* dapat diperoleh pada kondisi sedang dan lebih diinginkan lagi tanpa vakum. Pada umumnya, ZnO dibuat dengan metode penumbuhan fasa gas yang membutuhkan peralatan mahal untuk mencapai suhu tinggi dan atau tekanan rendah. Untuk menghindari operasi suhu tinggi dan atau tekanan rendah, berbagai teknik penumbuhan berbasis larutan telah dikembangkan. Teknik ini telah muncul sebagai teknik yang telah menjanjikan, ditinjau dari sudut pandang biayanya yang murah, sederhana dan kemudahan untuk mengatur skala proses. Air adalah pelarut yang paling umum digunakan dalam teknik berbasis larutan dan sintesis klasik dilakukan pada suhu yang lebih tinggi dari 50°C atau lebih tinggi. Akan tetapi, perhitungan termokimia telah mendemonstrasikan bahwa dalam sistem seng-air, ZnO adalah produk padat yang paling stabil pada suhu ruang untuk membentuk oksida.

Untuk memberi kontribusi pengurangan biaya produksi *solar cell*, konsep baru yang berdasarkan pada bahan struktur nano saat ini dieksplorasi. Elektrodeposisi telah muncul sebagai metode alternatif berbiaya rendah untuk produksi lapisan tipis *solar cell* yang mencapai konversi yang besar. Elektrodeposisi

tidak memerlukan peralatan mahal dan sulit, mudah untuk dikelola bahkan pada skala industri. Elektrodeposisi beroperasi pada suhu relatif rendah, dan tebal lapisan relatif mudah untuk dikendalikan. Dengan mengatur parameter elektrodeposisi seperti konsentrasi reaktan, arus listrik atau potensial, suhu dan aditif bath, morfologi dan kualitas kristal bahan yang dideposisikan dapat diatur dengan baik.

Mekanisme deposisi terdiri dari pembentukan elektrokimia ion hidroksida dengan reduksi prekursor terlarut. Prekursor dapat berupa ion nitrat, hydrogen peroksida atau oksigen molekuler. Mekanisme reduksi  $O_2$  pada permukaan elektroda ZnO terjadi oleh pencampuran lintasan dua dan empat elektron. Overvoltage katoda yang tinggi membantu lintasan terakhir. Elektrodeposisi ZnO klasik dilakukan pada rentang suhu 70-80°C. Metoda ini menghasilkan lapisan polikristal yang tersusun atas butiran ZnO besar dan terkristalisasi dengan baik atau batang ZnO atau deretan kawat, dimana setiap batang atau kawat adalah kristal tunggal.

Elektrodeposisi ZnO pada suhu rendah telah didapatkan sulit karena tetapan kinetika yang mendorong pembentukan seng hidroksida. Penelitian tentang deposisi suhu rendah ZnO sangat jarang dan produksi elektrokimia lapisan ZnO kualitas bagus pada suhu ruang tetap menantang. Telah dilaporkan bahwa setelah pemberian gelembung oksigen pada larutan seng asetat yang mengandung agen pengkompleks yang lama, nukleasi sesaat ZnO teramati ketika overvoltage katoda rendah diberikan. Akan tetapi, produk yang dideposisikan tidak teridentifikasi dengan jelas dan pembentukan ZnO yang terkristal dengan baik pada kondisi ini meragukan. Mei dkk. telah menguraikan bahwa penumbuhan elektrokimia ZnO pada suhu 20°C menggunakan larutan seng nitrat pada konsentrasi tinggi. Konfigurasi dua elektroda digunakan dan potensial -1 V dipulsasi. Lapisan yang terdeposisi menampilkan fotoluminescence (PL) ujung pita dekat UV yang sangat rendah dan PL tampak yang sangat kuat karena defek yang dalam. Spektrum emisi PL adalah tipikal ZnO yang kualitas strukturnya jelek.

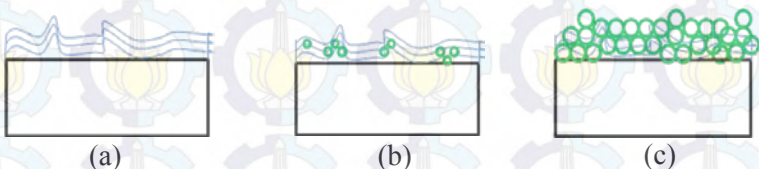


## 2.4 Lapisan Tipis ZnO

ZnO merupakan oksida konduktif transparan paling penting dalam lapisan PV dan dapat didoping sampai konsentrasi pembawa bebas tinggi dengan mobilitas drift elektron pada tingkat  $10 \text{ cm}^2/\text{V s}$ . ZnO adalah semikonduktor tipe n dengan energi band gap antara 3,20 sampai 3,35 eV. ZnO tidak beracun dan dapat dibuat menggunakan berbagai macam teknik. Oksida ini memiliki transmisi optik yang tinggi serta dapat menghantarkan listrik. Sifat yang unik tersebut membuat lapisan tipis ZnO menjadi pilihan utama untuk berbagai aplikasi konduktor transparan, seperti layar datar komputer laptop, sel surya, serta aplikasi lain seperti sensor gas, transduser piezoelektrik, dan lain sebagainya. Untuk mendapatkan konduktivitas listrik dan transparansi yang diinginkan dapat dilakukan penambahan doping atom logam, seperti Al, Sn, Cd, Ga, In, dll, pada lapisan tipis ZnO.

Dalam aplikasinya sebagai lapisan transparan pada sel PV, ZnO dapat digunakan sebagai lapisan penyangga yang meningkatkan efisiensi sel dengan mencegah kebocoran listrik. Lapisan ZnO bisa juga bekerja sebagai lapisan anti pantulan ketika menyerap radiasi UV sehingga foton energi rendah mampu mencapai lapisan absorber. Bersamaan, doping ZnO dengan unsur grup III seperti B, Al atau In meningkatkan konduktivitas tipe n, yang menyebabkan lapisan berguna untuk tujuan ganda.

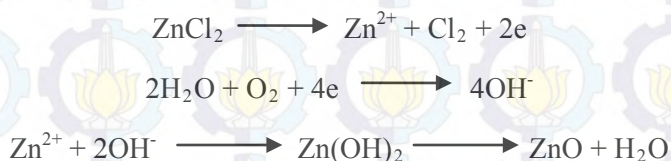
## 2.5 Mekanisme Pembentukan Lapisan Tipis ZnO



**Gambar 2.2** (a) Pembentukan lapisan  $\text{Zn(OH)}_2$  (b) Pembentukan ZnO inti (c) Pembentukan nanocrystal ZnO



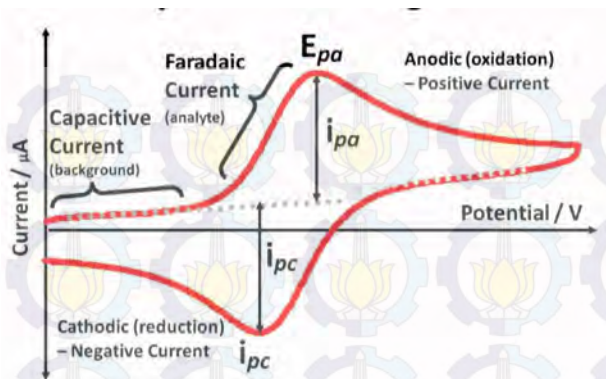
Gambar 2.2 merupakan tahapan mekanisme terbentuknya lapisan tipis nanocrystal ZnO dengan metode elektrodeposisi. Dimulai dengan pembentukan lapisan tipis  $\text{Zn(OH)}_2$  sebagai lapisan awal amorf yang memiliki konduktivitas listriknya rendah. Lapisan yang terbentuk memiliki ketebalan yang tidak seragam. Setelah konsentrasi oksigen dan periode induksi cukup, inti ZnO mulai tumbuh akibat adanya dehidrasi oksida. Proses dehidrasi oksida yaitu molekul air dari seng hidroksida. Reaksi yang terjadi saat proses elektrodeposisi:



Dengan adanya ZnO inti menyebabkan peningkatan densitas arus. Inti ZnO tumbuh membentuk ZnO dengan elektropresipitasi. Lapisan awal ZnO yang terbentuk secara progresif berubah menjadi kristal ZnO, sehingga pada tahap akhir akan terbentuk pertumbuhan lapisan ZnO dengan ukuran nanocrystal (Pauporte & Jirka, 2009).

## 2.6 Cyclic Voltammetry (CV)

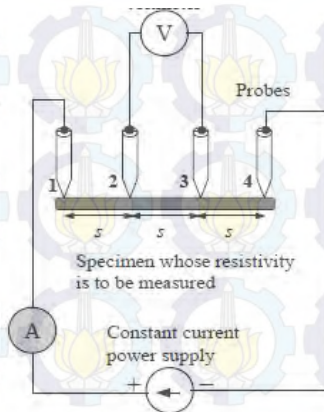
*Cyclic Voltammetry* (CV) adalah salah satu uji pengukuran elektrokimia yang berdasarkan pada perubahan potensial. Analisis ini dilakukan dengan mengaplikasikan *working electrode* dengan potensial dalam range tertentu (*scan*), potensial diset meningkat atau menurun terhadap waktu, ketika mencapai titik potensial maksimum maka scan akan berbalik menuju titik potensial awal. Jumlah dari scan potensial ini dapat ditentukan berapa *cycle* sesuai keinginan. Dengan dilakukannya scan potensial akan dapat diketahui pada potensial berapakah reaksi pada larutan analit berlangsung, baik reaksi oksidasi maupun reduksi. Adanya reaksi pada analit akan tampak dengan adanya puncak (*peak*) pada grafik *voltammogram*.



**Gambar 2.3** *Voltammogram*

Gambar 2.3 merupakan bentuk tipikal dari voltammogram. Dengan sumbu x sebagai potensial (V), semakin ke kiri potensial semakin negatif (larutan tereduksi), semakin ke kanan potensial semakin positif (larutan teroksidasi). Sedangkan pada sumbu y, semakin positif (keatas) adalah arus anodik (oksidasi), semakin kebawah adalah arus katodik (oksidasi). Setelah diketahui potensial berlangsungnya reaksi berupa munculnya *peak* pada grafik, maka akan dapat diketahui reaksi apa yang berlangsung dari nilai potensial tereduksinya ( $E^0$ ).

## 2.7 Uji Resistivity dengan Metode *Four Point Probes*



**Gambar 2.4** Skema Uji Resistivity Four Point Probes

Gambar 2.4 merupakan skema uji resistivity four point probes yang digunakan untuk mengamati sifat listrik suatu bahan. Disebut *probe* empat titik, karena ada empat titik kontak yang disentuhkan pada permukaan sampel. Keempat titik kontak (*probe*) tersebut dibuat berderet dalam satu garis lurus dengan jarak antar *probe* diatur sedemikian rupa sehingga satu sama lain mempunyai jarak yang sama. Arus listrik yang konstan dialirkan sepanjang permukaan sampel melalui dua probe terluar (1 dan 4). Jika sampel mempunyai resistansi, maka akan ada penurunan tegangan ketika arus mengalir sepanjang sampel tersebut. Perubahan tegangan tersebut diukur melalui dua probe bagian dalam (2 dan 3). Sehingga dapat diperoleh nilai resistivity dari sampel.



## 2.8 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

**Tabel 2.1 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya**

No	Peneliti	Judul	Hasil
1	Th.Pauporte, I.Jirka (2009)	A Method for electrochemical growth of homogeneous nanocrystalline ZnO thin films at room temperature	Diperoleh pertumbuhan lapisan ZnO dengan kualitas yang bagus dari larutan pada suhu ruang.
2	Xinze Luo, Lin Xu, Bingbing Xu, Fengyan Li (2011)	Electrodeposition of zinc oxide/tetrasulfonated copper phthalocyanine hybrid thin film for dye-sensitized <i>solar cell</i> application	Pengukuran fotoelektrokimia menunjukkan pelapisan elektroda ZnO/TSpCu dapat meningkatkan performa fotoelektrik.
3	Septina, W.dkk (2007)	Pembuatan Prototipe <i>Solar cell</i> Murah dengan Bahan Orgnaik-Inorganik	Berhasil dilakukan pembuatan prototype DSSC dengan menggunakan kombinasi bahan inorganic TiO <sub>2</sub> dengan bahan organik dye dari ekstraksi buah delima. Karakteristik yang menentukan performansi sel



			surya diantaranya struktur $\text{TiO}_2$ , jenis dye, dan enkapsulasi cahaya.
4	Afify, H.H, et all (2005)	Realization and Characterization ZnO/n-Si Solar cell by Spray Pyrolysis	<i>Solar cell</i> ZnO/Si dengan lapisan $\text{SiO}_2$ yang dibentuk dengan oksidasi menunjukkan degradasi pada performanya. Untuk meminimalisir degradasi dari layer pada ITO dengan mendeposisi ZnO pada permukaan
5	Mubarok, H, Habibie, Yusuf H. (2014)	Preparasi Lapisan Tipis ZnO dengan Metode Elektrodposisi untuk Aplikasi Solar Cell	Semakin tinggi flowrate oksigen yang diaplikasikan pada larutan untuk pelapisan ZnO dapat memberikan hasil yang lebih baik.



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Gambaran Umum**

Secara umum yang dilakukan pada penelitian ini adalah pelapisan ZnO pada ITO glass secara elektrodposisi, kemudian melakukan ekstraksi kulit terong serta pewarnaan ITO glass yang telah terlapisi ZnO dengan cara dicelupkan selama 24 jam, lalu ITO glass yang telah diwarnai dilapisi dengan separator berupa kertas saring yang telah diberi elektrolit dan lempengan aluminium sehingga menjadi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). Setelah itu dilakukan uji karakterisasi dengan metode *resistivity 4 probes* dan *Linier Sweep Voltammetry Staircase* (LSV Staircase) pada DSSC yang telah dibuat.

#### **3.2 Bahan Penelitian**

Bahan penelitian yang digunakan terdiri dari  $\text{ZnCl}_2$  dengan kemurnian 98% dengan merk dagang Merck dengan grade A.R; KCl dengan kemurnian 99,5% dengan merk dagang Merck dengan grade A.R; KI dengan kemurnian 98% dengan merk dagang Merck dengan grade A.R;  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$  dengan kemurnian 99,5% dengan merk dagang Merck dengan grade A.R; air demin; gas  $\text{O}_2$ ; lempengan tembaga; kaca *Indium Tin Oxide* (ITO Glass) dengan merk dagang Sigma-Aldrich.

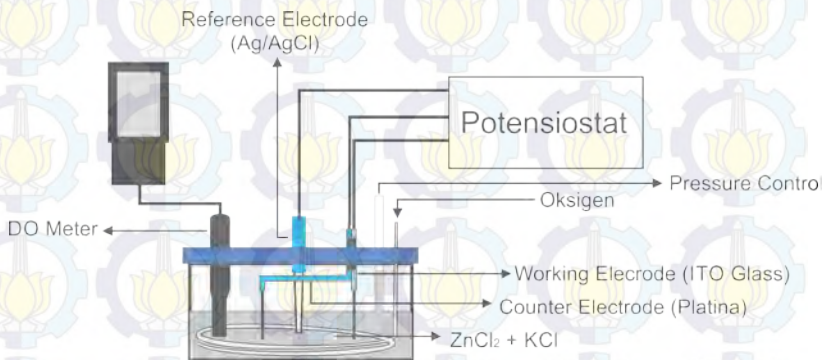
#### **3.3 Prosedur Penelitian**

##### **3.3.1 Pencucian ITO Glass**

ITO Glass dicuci dalam *ultrasonic bath* selama 5 menit, kemudian direndam dalam 45% asam nitrat selama 2 menit, selanjutnya direndam dalam aseton selama 5 menit, kemudian direndam dalam ethanol 5 menit. ITO Glass yang telah dicuci diangin-anginkan hingga kering, dan disimpan dalam kotak plastik yang berisi silica gel agar tidak lembab.

### 3.3.2 Pelapisan ZnO pada ITO Glass

Pelapisan ZnO menggunakan metode elektrodposisi yang dilakukan dengan alat potensiostat Autolab 302N, Metrohm. Disusun sedemikian rupa seperti yang pada gambar 3.1. Menggunakan sel tiga elektroda, yaitu: 1. *Counter Electrode* berupa platina ukuran 2,5 cm x 2,5 cm; 2. *Reference Electrode* berupa Ag/AgCl; 3. *Working Electrode* berupa ITO glass yang berukuran 2,5 cm x 2,5 cm. Digunakan DO meter untuk mengetahui konsentrasi oksigen terlarut dalam larutan elektrolit. Larutan yang digunakan berupa 5mM  $\text{ZnCl}_2$  dan 0,1 M KCl dengan volume larutan 600 mL. Kondisi operasi yang berpengaruh berupa oksigen terlarut diatur konstan 16,5 mg/L dan variabel tegangan (-0,5 sampai -1,5V vs Ag/AgCl). Proses elektrodposisi selama 30 menit.



**Gambar 3.1** Skema Peralatan yang Digunakan untuk Elektrodposisi



### 3.3.3 Ekstraksi Antosianin dari Kulit Terong Ungu dan Pewarnaan ITO Glass

Kulit terong yang kondisinya baik dan bersih, diiris kecil-kecil lalu ditimbang dengan neraca analitik. Diambil 10 gram kulit terong dimasukkan kedalam labu Erlenmeyer berisi larutan campuran ethanol 70 mL, aquades 30 mL dan 1 mL HCl. Kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirer* selama 100 menit hingga didapatkan larutan berwarna ungu. Larutan hasil ekstraksi dipindahkan dalam botol dan dibungkus dengan aluminium *foil* untuk mencegah kontak dengan matahari. Kemudian disimpan di *refrigerator* agar tidak mudah rusak.

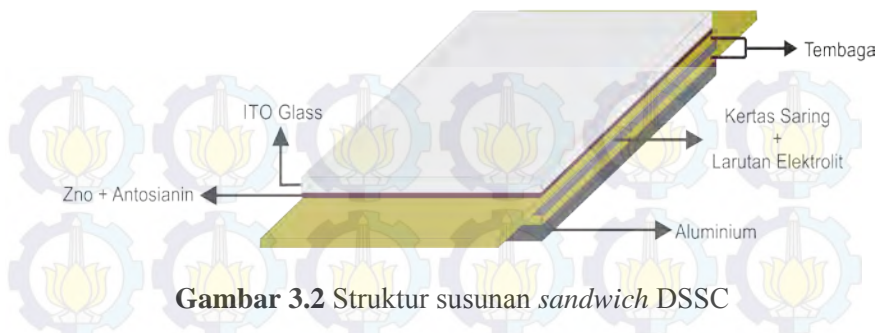
Langkah selanjutnya adalah melakukan pewarnaan pada ITO Glass yang telah dilapisi ZnO dengan cara dicelupkan dalam ekstrak antosianin selama 3 jam. Pencelupan dilakukan pada botol yang telah dibungkus aluminium *foil* dan pada suhu ruang. Setelah dicelupkan, ITO Glass diangin-anginkan hingga kering.

### 3.3.4 Preparasi Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit terdiri dari 8,3 gram Kalium Iodida (KI) dan 1,26 gram Iodine ( $I_2$ ) yang kemudian dilarutkan dalam *Ethylene Glycol*. Larutan kemudian diaduk dengan *Magnetic Stirer* hingga homogen. Larutan kemudian disimpan dalam botol dan dibungkus dengan aluminium *foil*.

### 3.3.5 Pembuatan Dye Sensitized Solar Cell

ITO Glass yang telah diberi pewarna dilapisi dengan ZnO dan telah diwarnai disusun untuk dijadikan DSSC. Susunan struktur *sandwich* dari DSSC sesuai pada gambar 3.2.



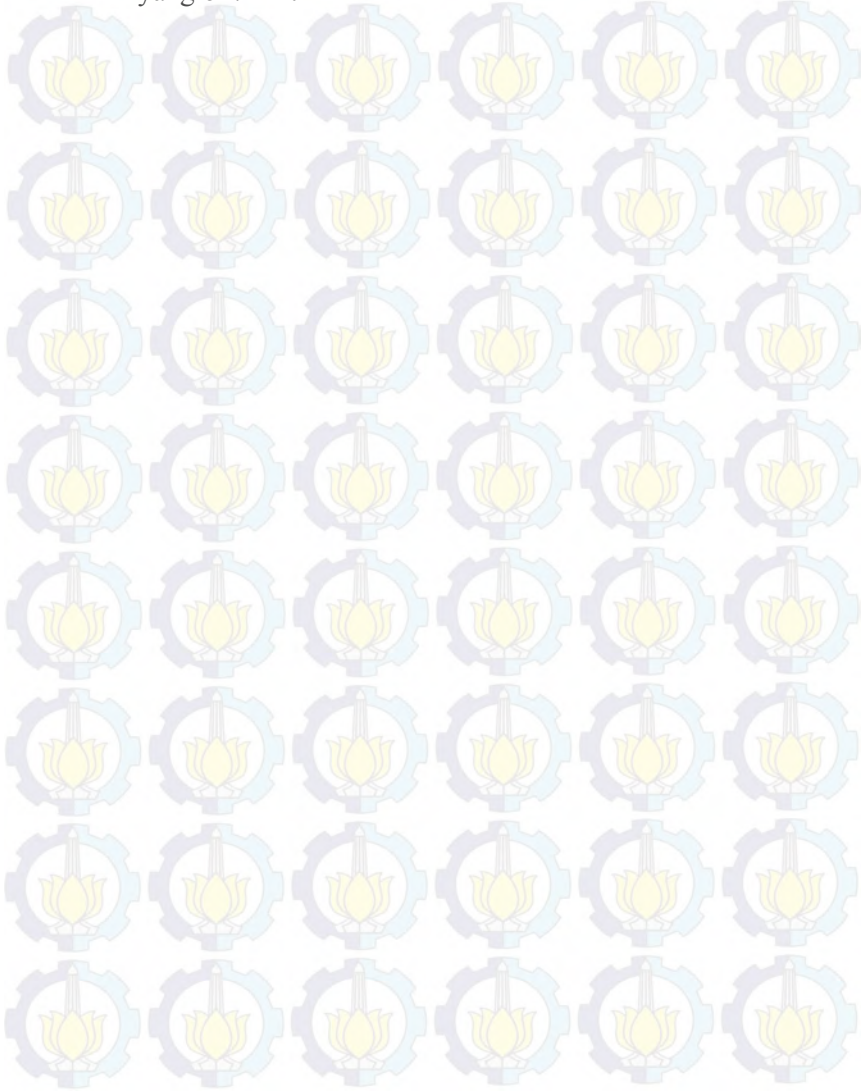
**Gambar 3.2** Struktur susunan *sandwich* DSSC

Susunan *sandwich* berturut-turut dari lapisan teratas adalah ITO Glass yang telah dilapisi ZnO dan Antosianin, kemudian lempengan tembaga pertama sebagai alternatif katoda, kemudian dilapisi kertas saring yang diberi larutan elektrolit, lalu lempengan tembaga kedua sebagai alternatif anoda, dan lapisan terakhir berupa lempengan aluminium. Lapisan *sandwich* tersebut disatukan dengan *paper clip*.

### 3.3.6 Karakterisasi Produk

Morfologi lapisan ZnO yang terbentuk diamati dengan mikroskop optik dengan metode *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Nilai konduktivitas produk dianalisis secara data *chronoamperometry* dengan menggunakan Autolab 302N, Metrohm. Proses reaksi yang terjadi saat elektrodposisi diamati dengan metode *Cyclic Voltammetry*. Nilai hambatan listrik yang terbentuk dianalisis dengan menggunakan resistivity test 4 probe menggunakan Autolab 302N. Resistivity test 4 probe dilakukan dengan pemberian arus pada lapisan ZnO yang terbentuk sehingga tegangan dapat diukur dengan multimeter. Untuk mengetahui kurva arus dan tegangan yang terbentuk dengan pemberian sinar yang memiliki panjang gelombang tertentu menggunakan *Linier Sweep Voltammetry Potensiostatic* (LSVP) menggunakan Autolab 302N yang digabungkan dengan LED driver. Sinar yang

digunakan adalah LED merah dengan panjang gelombang yang 627 nm.







## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam penelitian dievaluasi pengaruh tegangan terhadap pembentukan lapisan tipis ZnO pada ITO *Glass* untuk aplikasi pembuatan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). Dengan menggunakan konsentrasi oksigen terlarut 16,5mg/L pada elektrolit berupa 5mM ZnCl<sub>2</sub> + 0,1M KCl sebanyak 600mL. Tegangan yang digunakan sebagai dalam penelitian ini adalah -0,5V; -0,75V; -1V; -1,25V dan -1,5V. Kelima variabel tersebut dibandingkan dengan reference elektroda Ag/AgCl.

Material yang digunakan sebagai *working electrode* untuk kemudian dilapis dengan ZnO pada penelitian ini, ada dua macam yaitu lempengan tembaga dan ITO *glass*. Evaluasi pengaruh tegangan terhadap elektrodeposisi dilakukan terhadap lempengan tembaga terlebih dahulu untuk diketahui prosedur elektrodeposisi dan hasil pelapisan ZnO yang tepat untuk selanjutnya diaplikasikan pada ITO *Glass*.

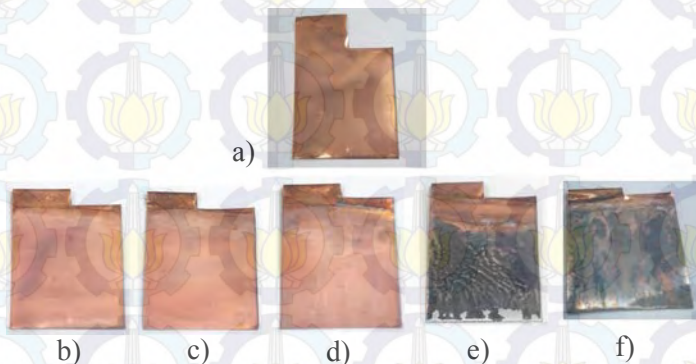
#### **4.1 Elektrodeposisi ZnO pada Lempengan Tembaga**

##### **4.1.1 Hasil Tembaga yang Telah Dielektrodeposisi**

Sebelum aplikasi pelapisan ZnO dilakukan pada ITO *Glass*, uji pelapisan terlebih dahulu diaplikasikan pada lempengan tembaga untuk mendapatkan prosedur dan hasil pelapisan yang sesuai dengan yang diinginkan, yaitu hasil lapisan ZnO yang homogen dan memiliki luas permukaan yang besar. Prosedur yang dirasa sesuai nantinya akan diterapkan dengan cara yang sama pada ITO *Glass*.

Gambar 4.1 adalah foto kondisi dari elektroda tembaga pada saat sebelum dan sesudah elektrodeposisi pada berbagai potensial. Terlihat secara kasat mata bahwa hasil elektrodeposisi pada potensial -0,5V; -0,75V dan -1V vs Ag/AgCl didapat hasil pelapisan yang hampir sama, didapatkan lapisan berwarna putih tipis dan sedikit transparan. Hasil Tembaga yang dielektrodeposisi pada potensial -1,25V didapatkan 3 lapisan,

lapisan pertama berwarna putih tipis agak transparan, lapisan kedua berwarna hitam legam, dan lapisan ketigan berwarna putih tulang. Dengan potensial  $-1,5\text{V}$  didapatkan hasil pelapisan berwarna putih metalik dan kehitaman.

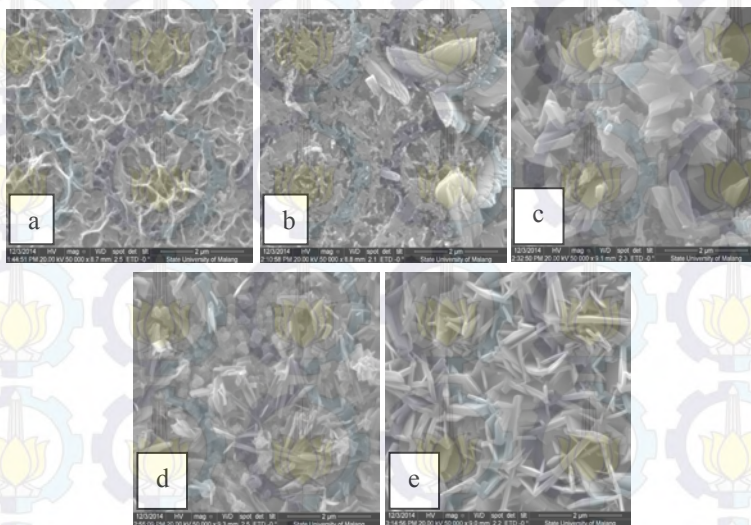


**Gambar 4.1.** a) Kondisi awal Tembaga sebelum dielektrodeposisi, dibagian bawah adalah hasil elektrodeposisi pada berbagai potensial (V) berturut-turut adalah: b)  $-0,5\text{V}$ ; c)  $-0,75\text{V}$ ; d)  $-1\text{V}$ ; e)  $-1,25\text{V}$ ; dan f)  $-1,5\text{V}$  (vs Ag/AgCl)

Dari hasil pelapisan dengan berbagai potensial diatas, hasil pelapisan yang dianggap sesuai adalah sampel yang dielektrodeposisi pada potensial  $-0,5\text{V}$ ;  $-0,75\text{V}$  dan  $-1\text{V}$  karena hasil lapisan yang terbentuk berwarna putih sesuai dengan karakteristik  $\text{ZnO}$ , tipis dan merata. Selanjutnya, untuk melihat secara lebih rinci morfologi dari  $\text{ZnO}$  yang telah terbentuk, lapisan diamati dengan foto SEM.

Hasil foto SEM ditampilkan pada gambar 4.2. Pada potensial  $-0,5\text{V}$  tampak terbentuk lapisan berpori yang rata (homogen). Karena pada tegangan rendah proses pelapisan yang berlangsung secara perlahan sehingga pelapisan berlangsung dengan baik dan merata. Ketika potensial dinaikkan menjadi  $-0,75\text{V}$  tampak hasil pelapisan yang kurang merata, terbentuk lapisan berupa lempengan pipih pada beberapa bagian dan tidak

lagi tampak lapisan berpori. Pada potensial  $-1\text{V}$ . Hasil pelapisan tidak merata, tampak adanya bentuk lempengan pipih yang lebih tebal dan dengan jarak yang lebih rapat dengan susunan yang acak, terdapat pula bagian yang lebih tipis dan tampak retak-retak. Kemungkinan retak tersebut mengakibatkan lapisan ZnO menjadi mudah terlepas sehingga mengakibatkan terjadinya arus yang tidak stabil saat elektrodposisi. Perubahan arus ini akan dijelaskan nanti secara lebih rinci dibawah. Pada potensial  $-1,25\text{V}$  terbentuk tiga lapisan pada Tembaga. Lapisan pertama berbentuk morfologi lapisan rata, lapisan kedua berbentuk bulatan-bulatan yang saling menempel, lapisan paling atas berbentuk lempengan pipih yang sangat banyak. Pada potensial  $-1,5\text{V}$ , tampak struktur lempengan pipih menjadi semakin tebal dan jumlahnya bertambah banyak, serta jarak antar batangan semakin rapat.



**Gambar 4.2** Foto SEM permukaan Tembaga yang telah dilapisi ZnO dengan elektrodposisi pada potensial: (a)  $-0,5\text{V}$ ; (b)  $-0,75\text{V}$ ; (c)  $-1\text{V}$ ; (d)  $-1,25\text{V}$  dan (e)  $-1,5\text{V}$  (vs Ag/AgCl)



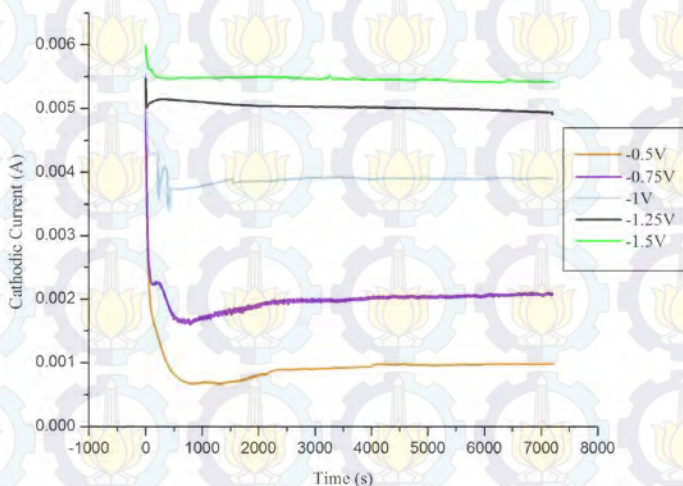
Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa perbedaan potensial saat elektrodposisi memberikan pengaruh terhadap hasil pelapisan ZnO. Semakin tinggi potensial yang diaplikasikan saat elektrodposisi maka hasil lapisan akan tampak semakin tebal, apabila arus yang diaplikasikan diatas -1V maka hasil pelapisan akan mengalami perubahan warna yang menjadi kehitaman. Selain itu, morfologi lapisan akan berubah dari yang awalnya berbentuk lapisan berpori yang rata saat potensial rendah, kemudian menjadi bertambah struktur batang pipih diatas lapisan tersebut. Semakin tinggi potensial yang diaplikasikan, maka struktur lempengan pipih menjadi semakin banyak dan jaraknya mejadi semakin rapat.

#### *4.1.2 Mekanisme pembentukan lapisan ZnO pada Elektroda Tembaga*

Mekanisme proses pembentukan lapisan ZnO pada elektroda dapat dianalisa dengan metode *Chrono Amperometry*, dengan metode ini didapatkan kurva perubahan arus terhadap waktu selama proses elektrodposisi yang disajikan pada Gambar 4.3. Terlihat bahwa pada potensial -0,5V; -0,75V; dan -1V memiliki pola arus yang sama terhadap waktu. Pada awal elektrodposisi, arus turun hingga titik tertentu, setelah beberapa detik arus kembali naik kemudian menjadi relatif konstan. Kondisi ini disebabkan karena pembentukan lapisan ZnO terjadi dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pembentukan  $\text{Zn(OH)}_2$  yang bersifat non-konduktif yang mengakibatkan arus menjadi turun dan tahap kedua adalah pembentukan ZnO yang bersifat konduktif dengan cara pelepasan ikatan  $\text{OH}^-$  melalui proses dehidrasi yang mengakibatkan arus meningkat. Setelah terbentuk cekungan dan arus kembali naik, permukaan menjadi kurang reaktif akibat dari adanya ZnO yang telah terlapsi pada Tembaga sehingga terjadi proses penebalan yang terjadi secara perlahan membuat grafik menjadi tampak konstan. Pada potensial -0,75V dan -1V terlihat adanya arus yang tidak stabil pada detik 1-1000, hal ini kemungkinan dikarenakan perubahan struktur dan/atau morfologi dari lapisan ZnO. Pada potensial -1,25V cekungan

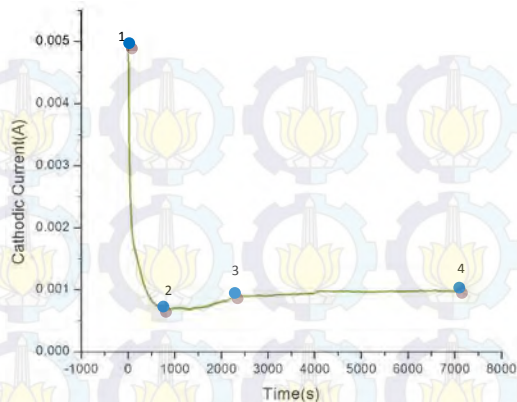


tersebut terjadi sangat sempit atau proses yang terjadi begitu cepat lalu kemudian arus menjadi konstan, bahkan pada  $-1,5\text{V}$  hampir tidak terlihat sama sekali adanya cekungan. Besar potensial yang diaplikasikan saat elektrodeposisi terlihat memberikan pengaruh pada kecepatan pembentukan lapisan ZnO. Semakin tinggi potensial maka pembentukan yang terjadi akan semakin cepat dan memberikan hasil lapisan yang berbeda secara kasat mata.



**Gambar 4.3** Grafik *Chrono Amperometry* pada berbagai potensial ( $-0,5\text{ V}$  hingga  $-1,5\text{V}$  vs Ag/AgCl)

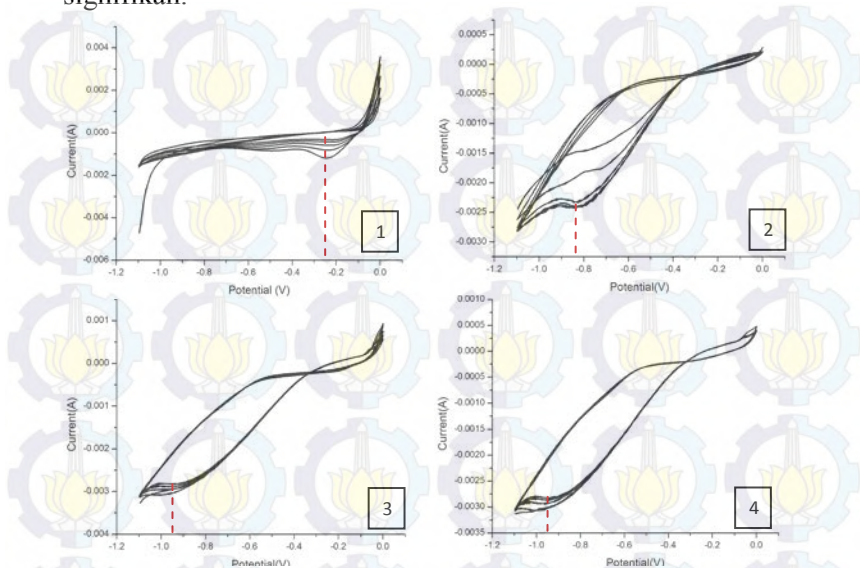
Untuk meyakinkan hal ini dilakukan *cyclic voltammetry* (CV) selama proses elektrodeposisi pada saat terjadi perubahan arus. Analisa CV dilakukan pada titik 1 sampai titik 4 selama proses elektrodeposisi. Titik-titik tersebut adalah pada saat sebelum dilakukan elektrodeposisi (titik 1), saat arus mencapai titik terendah (titik 2), saat arus telah naik signifikan (titik 3), dan diakhir elektrodeposisi saat arus mulai stabil naik perlahan (titik 4). Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Grafik *Chrono Amperometry* Elektroda Tembaga pada saat Elektrodeposisi pada -0,5V

Hasil *Voltammogram* ditampilkan pada gambar 4.5. Dimana hasil *Voltammogram* pada titik 1 yaitu saat sebelum dilakukan elektrodeposisi, tampak puncak pada potensial -0,22V sehingga kemungkinan reaksi yang terjadi adalah  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^- (10^{-7}\text{M})$  dengan nilai  $E^0 = -0,216\text{V}$  vs Ag/AgCl. Pada titik 2 yaitu saat setelah dilakukan elektrodeposisi hingga dicapai arus paling rendah, tampak puncak pada potensial -0.82V kemungkinan reaksi yang terjadi adalah  $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$  dengan nilai  $E^0 = -0,858\text{V}$  vs Ag/AgCl. Pada titik 3, puncak dari grafik semakin bergeser kekanan menjadi -0,95V, sehingga dapat disimpulkan reaksi yang terjadi adalah reduksi  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$  dengan nilai  $E^0 = -0,976\text{V}$  vs Ag/AgCl. Pada titik 4, *Voltammogram* setelah dilakukan elektrodeposisi selama 1800 detik tidak jauh berbeda dengan titik 3, tampak *peak* pada -0,95V. Hal ini menunjukkan bahwa proses elektrokimia yang terjadi pada larutan tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Hasil ini jika dirujuk pada data pembahasan sebelumnya akan sesuai dengan penjelasan grafik 4.3 dimana pada tahap ini proses yang terjadi ada proses penebalan lapisan ZnO pada substrat, pada

proses ini aktifitas pada lapisan tembaga menjadi tidak terlalu signifikan.



**Gambar 4.5** Voltammogram pada Berbagai Titik Elektrodeposisi a) titik 1, b) titik 2, c) titik 3, d) titik 4

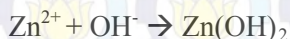
Dari hasil analisa diatas, maka dapat diketahui proses reaksi yang terjadi selama elektrodeposisi dilakukan. Berikut ilustrasi dari serangkaian reaksi tersebut.



**Gambar 4.6** Mekanisme Proses Pelapisan ZnO pada Elektroda



Pada gambar 4.6, ditampilkan proses pelapisan terjadi dalam dua tahapan. Tahapan pertama adalah pembentukan  $\text{Zn(OH)}_2$  dari  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{OH}^-$ , reaksinya adalah:



Tahapan kedua adalah proses pembentukan  $\text{ZnO}$  melalui proses dehidrasi atau pelepasan  $\text{H}_2\text{O}$ .



#### 4.1.3 Resistivitas dari Elektroda Tembaga yang Telah Dielektrodeposisi

Setelah tembaga terlapisi  $\text{ZnO}$ , selanjutnya dianalisa nilai resistansinya dengan metode uji *resistivity* menggunakan 4 *probe*. Jarak antar *probe* pada permukaan elektroda diatur masing-masing 1,1 cm. Arus yang dialirkan sebesar 0,1 A pada elektroda Tembaga dan ITO Glass. Hasil uji *resistivity* elektroda tembaga ditampilkan pada table 4.1 berikut:

**Tabel 4.1** Nilai Resistansi Elektroda Tembaga

Potensial Saat Elektrodeposisi	$R_{ave}$ ( $\Omega\text{m}$ )
Tembaga Awal	$4,16 \times 10^{-6}$
-0,5V vs Ag/AgCl	$4,07 \times 10^{-6}$
-0,75V vs Ag/AgCl	$3,57 \times 10^{-6}$
-0,1V vs Ag/AgCl	$3,29 \times 10^{-6}$
-1,25V vs Ag/AgCl	$3,41 \times 10^{-6}$
-1,5V vs Ag/AgCl	$1,43 \times 10^{-6}$

Dari tabel 4.1 diatas tampak bahwa semakin tinggi potensial yang digunakan saat elektrodeposisi, maka nilai resistansinya semakin rendah. Hasil ini sesuai dengan hasil analisa morfologi dan *Chrono Amperometry* dari elektroda tembaga, dimana semakin tinggi potensial yang digunakan saat elektrodeposisi, maka  $\text{ZnO}$  yang terlapisan pada permukaan elektroda tembaga menjadi semakin tebal dan rapat. Semakin



banyak ZnO yang terlapiskan pada elektroda, maka elektroda tersebut akan menjadi semakin konduktif.

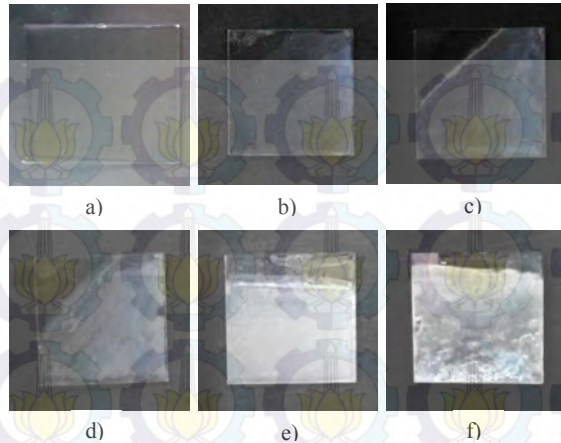
## **4.2 Elektrodeposisi ZnO pada ITO Glass**

Elektrodeposisi ZnO pada ITO Glass dilakukan dengan menggunakan prosedur yang sama dengan elektrodeposisi pada lempeng tembaga, dengan waktu elektrodeposisi selama 30 menit. Waktu elektrodeposisi diperpendek dengan harapan ZnO yang terlapisi pada ITO Glass tidak terlalu tebal.

### **4.2.1 Hasil ITO Glass yang Telah Dielektrodeposisi**

Foto ITO Glass saat sebelum dan setelah dilakukan elektrodeposisi ditampilkan pada gambar 4.7. Kondisi awal ITO Glass tampak bening transparan. Setelah dilakukan elektrodeposisi pada potensial  $-0,5V$  tampak lapisan tipis berwarna putih yang merata pada bagian yang tercelup pada larutan elektrolit. Ketika potensial elektrodeposisi dinaikkan menjadi lebih tinggi  $-0,75V$  tampak lapisan putih menjadi lebih buram dan lebih tebal. Pada potensial  $-1V$  tampak hasil lapisan putih yang sedikit lebih tebal dari potensial sebelumnya, namun tampak pelapisan kurang merata. Pada potensial  $-1,25V$ , lapisan menjadi berwarna putih dan sedikit kehitaman. Pada potensial  $-1,5V$  lapisan berwarna putih metalik dan kehitaman.

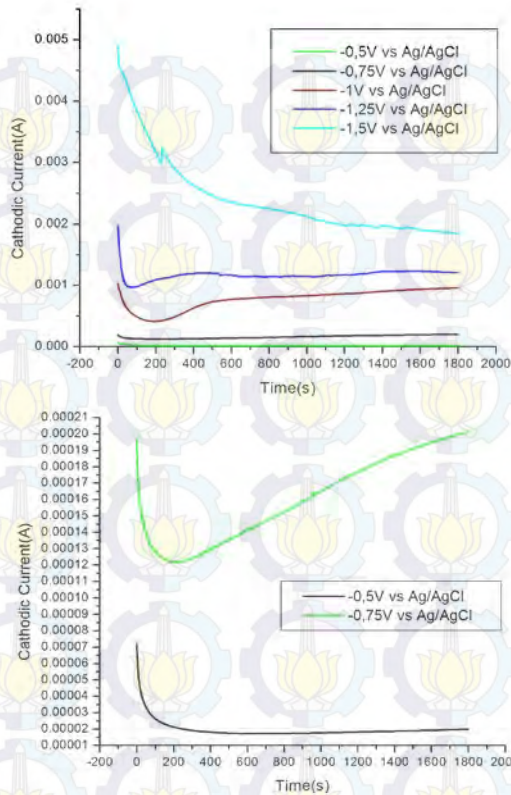
Tampak kesamaan hasil elektrodeposisi baik pada elektroda Tembaga maupun elektroda ITO Glass Dimana perbedaan potensial memberikan pengaruh terhadap hasil pelapisan ZnO, semakin tinggi potensial yang digunakan saat elektrodeposisi maka hasil lapisan akan menjadi semakin tebal dan buram, pada potensial  $-1,25V$  lapisan akan menjadi kehitaman, dan pada potensial  $-1,5V$  lapisan akan berwarna putih metalik dan hitam. Berikut adalah gambar ITO Glass sebelum dan setelah dilakukan elektrodeposisi.



**Gambar 4.7** ITO Glass (a) sebelum elektrodeposisi; hasil elektrodeposisi pada berbagai potensial (V) berturut-turut adalah (b) -0,5V; (c) -0,75V; (d) -1V; (e) -1,25V; dan f) -1,5V (vs Ag/AgCl)

#### 4.2.2 Mekanisme pembentukan lapisan ZnO pada Elektroda ITO Glass

Grafik *Chrono Amperometry* pada berbagai potensial ditampilkan pada gambar 4.8. Pelapisan dilakukan dengan selang waktu 30 menit, dengan harapan waktu pelapisan yang tidak terlalu lama menghasilkan lapisan yang tidak terlalu tebal.



**Gambar 4.8.** Grafik *Chrono Amperometry* Elektrodeposisi ITO Glass pada pontensial -0,5 V hingga -1,5V vs Ag/AgCl selama 30 menit

Pada elektrodeposisi dengan potensial -0,5V vs Ag/AgCl tidak terlihat adanya kenaikan arus yang signifikan hingga detik 1800, menandakan ZnO terbentuk namun dalam jumlah sedikit dan dengan proses pelapisan yang berjalan lambat. Jika kurva diperbesar dan diperhatikan dengan seksama, maka akan tampak adanya kenaikan arus pada detik 750. Kenaikan arus terjadi sangat perlahan hingga akhir waktu elektrodeposisi. Dengan dengan cara ini, diharapkan lapisan ZnO yang dihasilkan pada



ITO Glass adalah lapisan yang tipis dan merata. Pada potensial -0,75V juga tampak awalnya nilai arus mengalami penurunan, kemudian pada detik 200 arus mulai naik bertahap hingga akhir elektrodeposisi. Pada pelapisan dengan potensial -1V vs Ag/AgCl awalnya mengalami penurunan arus karena pembentukan  $\text{Zn(OH)}_2$ , kemudian pada detik 200 terjadi kenaikan nilai arus yang signifikan, menandakan proses pelapisan yang terjadi begitu cepat dan ZnO yang terlapisi cukup banyak sehingga mampu menaikkan nilai konduktivitas ITO Glass dalam waktu yang begitu singkat. Pada potensial -1,25V vs Ag/AgCl, tampak kenaikan arus menjadi lebih cepat kemudian arus menjadi stabil hingga akhir elektrodeposisi. Sedangkan pada potensial -1,5V vs Ag/AgCl tampak arus terus turun hingga akhir elektrodeposisi.

#### 4.2.3 Resistivitas dari Elektroda ITO Glass yang Telah Dielektrodeposisi

Hasil uji resistansi ITO Glass ditampilkan pada table 4.2. Dari tabel tersebut terlihat bahwa semakin tinggi potensial yang digunakan saat elektrodeposisi mengakibatkan nilai resistansinya menjadi lebih rendah.

**Tabel 4.2** Nilai Resistansi Elektroda ITO Glass

Potensial Saat Elektrodeposisi	$R_{ave}$ ( $\Omega\text{m}$ )
ITO Glass Awal	62,5
-0,5V vs Ag/AgCl	37,56
-0,75V vs Ag/AgCl	8,95
-0,1V vs Ag/AgCl	8,15
-1,25V vs Ag/AgCl	6,21
-1,5V vs Ag/AgCl	5,42

Dari hasil uji resistivitas didapatkan data bahwa pada elektroda yang dielektrodeposisi pada potensial -0,5V memiliki nilai resistivitas yang masih tinggi, yaitu 37,56  $\Omega\text{m}$ . sehingga dianggap kurang sesuai jika diaplikasikan pada *Dye-Sensitized*

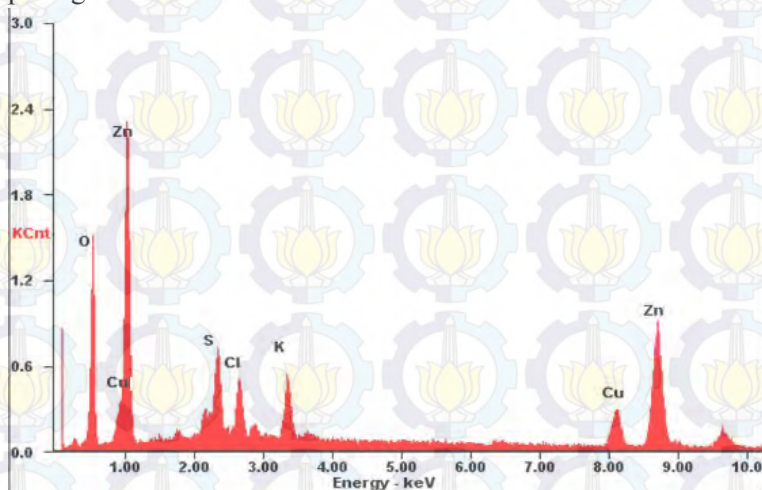


*Solar Cell* (DSSC). Sedangkan hasil pelapisan pada potensial -1V memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah daripada -0,75V. Sehingga dianggap hasil pelapisan yang paling sesuai untuk DSSC adalah pelapisan pada potensial -1V.

#### 4.3 Analisa Lapisan ZnO pada Elektroda

Setelah dilakukan pelapisan ZnO pada elektroda, selanjutnya hasil lapisan tersebut dianalisa untuk membuktikan bahwa zat yang terlapis pada elektroda adalah ZnO. Analisa dilakukan dengan Uji EDAX dan uji XRD.

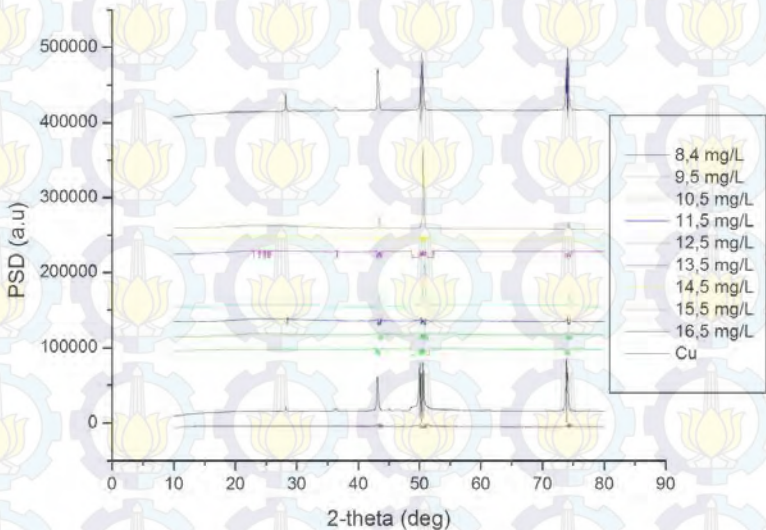
Hasil uji EDAX pada elektroda tembaga yang dielektrodeposisi pada potensial -1V vs Ag/AgCl ditampilkan pada gambar 4.9 berikut.



**Gambar 4.9** Hasil Analisa EDAX Elektroda Tembaga yang Dielektrodeposisi pada Potensial -1V vs Ag/AgCl

Pada gambar 4.7 tampak adanya pucak dari Zn dan O yang cukup tinggi, dimana hal ini menunjukkan bahwa dalam lapisan yang terdapat pada elektroda tersebut terdapat ZnO.

Selain uji EDAX, juga dilakukan analisa dengan menggunakan uji XRD. Adapaun hasil uji XRD ditampilkan pada gambar 4.10 berikut.



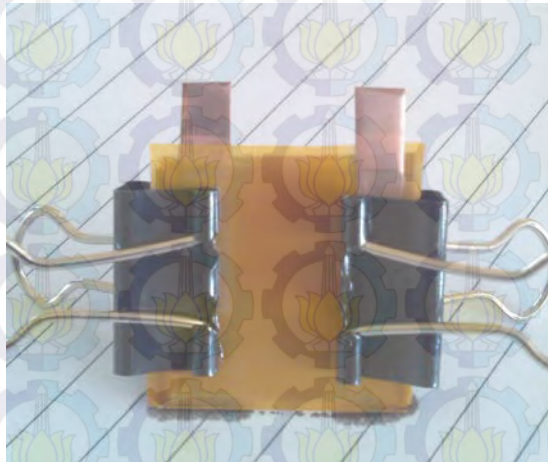
**Gambar 4.10** Hasil Uji XRD Elektroda Tembaga yang Dielektrodeposisi pada Potensial -1V vs Ag/AgCl dalam Berbagai Kondisi DO

Pada gambar 4.8 tampak kurva paling bawah merupakan hasil uji XRD pada tembaga normal, puncak yang timbul pada kurva ini kemudian digunakan sebagai pembanding terhadap kurva diatasnya yang merupakan kurva hasil elektrodeposisi pada berbagai kondisi oksigen terlarut (DO). Kurva kedua setelah kurva tembaga normal adalah hasil elektrodeposisi pada kondisi DO 8,4 mg/L, kemudian berturut-turut semakin keatas adalah hasil elektrodeposisi pada kondisi DO yang semakin tinggi, hingga kurva teratas adalah kurva tembaga hasil elektrodeposisi pada kondisi DO 16,5 mg/L. Disini terlihat bahwa ada perbedaan bentuk kurva tembaga hasil elektrodeposisi terhadap kurva tembaga normal. Dan perbedaan paling signifikan tampak pada

tembaga hasil elektrodeposisi pada DO 16,5 mg/L, yang menunjukkan bahwa zat yang terlapisi paling optimum dibanding dengan DO yang lebih rendah. Puncak yang muncul pada titik 25 dan 35 mengindikasikan zat terlapisi merupakan ZnO.

#### 4.4 Analisa Arus dan Tegangan pada DSSC

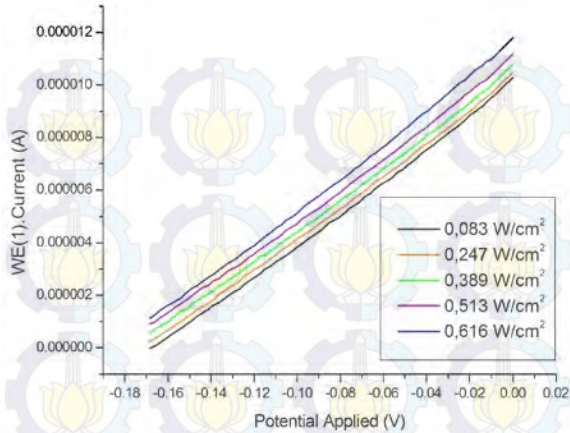
Selanjutnya ITO glass yang telah dilapisi ZnO pada potensial -1V dirangkai menjadi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). Adapun DSSC yang telah dibuat ditampilkan pada gambar 4.11 berikut:



**Gambar 4.11** DSSC menggunakan ITO Glass Hasil Pelapisan pada Potensial -1V vs Ag/AgCl

DSSC yang telah dirangkai ini, kemudian dianalisa nilai arus dan tegangannya dengan metode *Linear Sweep Voltammetry Potensiostatic* (LSVP). Dari hasil analisa tersebut didapatkan beberapa data, diantaranya nilai arus, daya, efisiensi, dan *fill factor*. Adapun grafik nilai arus terhadap potensial ditampilkan pada gambar 4.12.

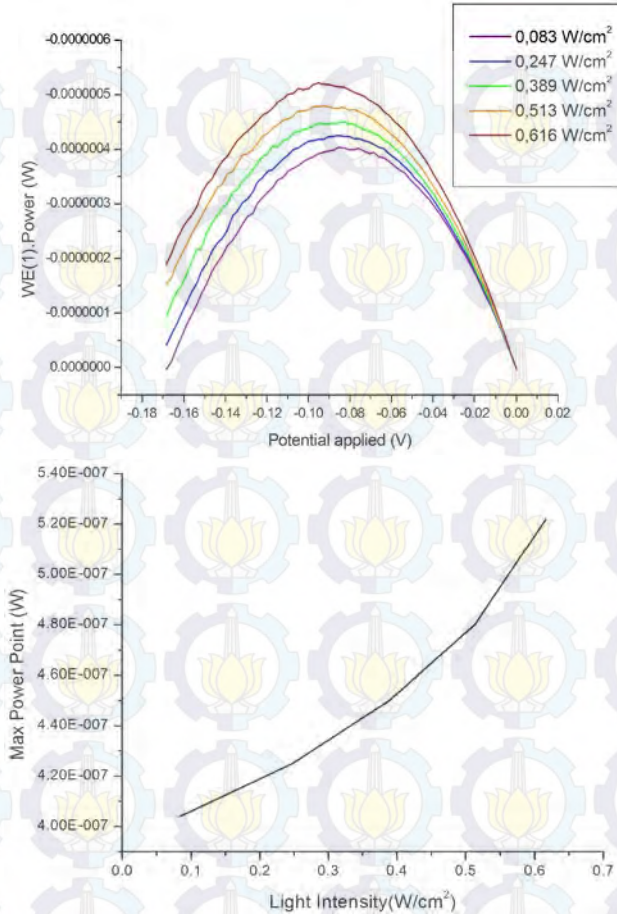




**Gambar 4.12** Grafik Arus terhadap Potensial pada DSSC dengan berbagai Intensitas Cahaya

Terlihat bahwa semakin tinggi potensial yang diaplikasikan pada DSSC maka nilai arus akan semakin tinggi, dan semakin besar intensitas cahaya yang digunakan maka arus yang tercipta juga semakin tinggi. Selanjutnya hasil analisa daya pada DSSC ditampilkan pada gambar 4.13.

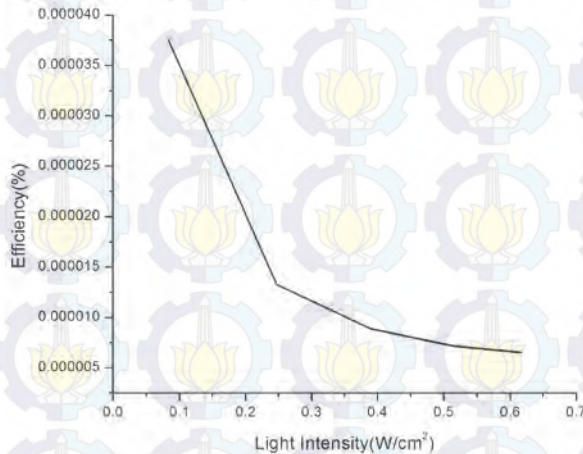




**Gambar 4.13** Grafik Daya yang Dihasilkan Terhadap Potensial pada DSSC dengan Berbagai Intensitas Cahaya

Terlihat bahwa semakin tinggi potensial maka daya akan semakin meningkat hingga dicapai daya maksimum, setelah daya maksimum tercapai maka secara bertahap daya akan menurun. Semakin tinggi intensitas cahaya yang digunakan maka daya

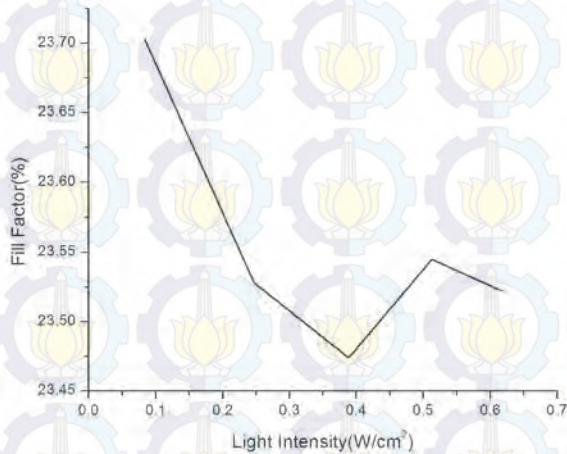
maksimum yang dihasilkan akan semakin tinggi dan titik akhir penurunan daya akan menjadi lebih tinggi pula. Dari data arus dan daya diatas, didapatkan nilai efisiensi dari DSSC yang ditampilkan pada gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Grafik Nilai Efisiensi DSSC Terhadap Intensitas Cahaya yang Digunakan

Nilai efisiensi merupakan presentase kemampuan DSSC dalam mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Dari gambar 4.12 terlihat bahwa nilai efisiensi dari DSSC menjadi semakin rendah saat intensitas cahaya ditingkatkan, yang berarti saat intensitas cahaya rendah DSSC mampu mengubah cahaya tersebut menjadi listrik dengan baik. Namun saat intensitas cahaya ditingkatkan energi cahaya yang mampu dirubah menjadi energi listrik tidak bertambah atau malah berkurang sehingga perhitungan nilai efisiensinya menjadi menurun. Adapun nilai efisiensi tertinggi dari DSSC adalah  $37 \times 10^{-5} \%$ .

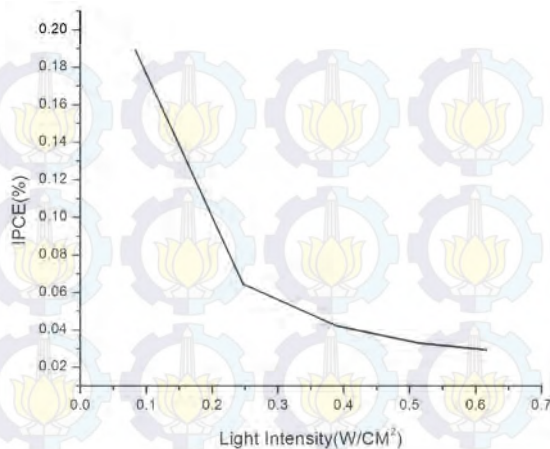
Selanjutnya dihitung nilai *fill factor* dari DSSC tersebut. Data nilai *fill factor* ditampilkan pada gambar 4.15 berikut.



**Gambar 4.15** Nilai *Fill Factor* DSSC pada Berbagai Intensitas Cahaya

Nilai *fill factor* tertinggi 23,70% tampak saat intensitas terendah  $0,1 \text{ W/cm}^2$ . Kemudian saat intensitasnya semakin ditingkatkan nilai *fill factor* menjadi semakin rendah. Selanjutnya dihitung *Incident Photo-to-Current Efficiency* (IPCE), yaitu efisiensi dari DSSC dalam mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik pada panjang gelombang tertentu. Nilai IPCE dari DSSC yang telah dibuat, ditampilkan pada gambar 4.16.





**Gambar 4.16** Nilai IPCE dari DSSC pada Panjang Gelombang 627 pada berbagai Intensitas Cahaya nm.

Hasil yang didapatkan, nilai IPCE tertinggi tampak pada intensitas cahaya terendah, semakin intensitas cahaya ditingkatkan nilai IPCE menjadi semakin turun.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemberian tegangan yang berbeda pada saat elektrodposisi memberikan pengaruh pada pembentukan lapisan ZnO pada elektroda tembaga dan ITO.
2. Hasil pelapisan pada potensial -0,5V; -0,75V dan -1V vs Ag/AgCl memberikan hasil pelapisan berwarna putih dan tipis (transparan) sesuai harapan. Sedangkan pada potensial yang lebih tinggi lapisan menjadi buram dan berwarna kehitaman.
3. Semakin tinggi potensial yang diaplikasikan struktur lempeng pipih yang muncul menjadi semakin banyak dan semakin rapat, serta nilai resistansinya menjadi semakin rendah.
4. Dari seluruh variabel potensial yang digunakan hasil pelapisan terbaik adalah pelapisan pada potensial -1V vs Ag/AgCl.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitan yang telah dilakukan, disarankan untuk mengembangkan penelitan yang difokuskan pada cara ekstraksi antosianin serta pewarnaan ITO Glass yang terlapis ZnO agar didapat kan DSSC dengan nilai efisiensi tinggi. Untuk proses pelapisan ZnO disarankan untuk menggunakan DO tinggi (16,5 mg/L) dengan potensial -1V vs Ag/AgCl.

## DAFTAR PUSTAKA

- Goux,A., Pauporte,T., Chivot, J., Lincot, D. *Temperature effects on ZnO electrodeposition*, Electrochimica Acta Vol. 50, 2005, hal. 2239–2248
- Afify. H.H, El-Hefnawi, S.H, Eliwa A.Y, Abdel-Naby M.M, Ahmed N.M, *Realization and Characterization ZnO/n-Si Solar Cell by Spray Pyrolysis*, Egypt.J.Solids Vol. 28, No 2, 2005.
- Pauporte,Th., Jirka,I., *A Method for Electrochemical Growth of Homogeneous Nanocrystalline ZnO Thin Films at Room Temperature*, France, 2009.
- Septina, W., *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik*. Institut Teknologi Bandung, Bandung. 2007.
- Luo,X., Xu,L., Li, F., *Electrodeposition of Zinc Oxide/Tetrasulfonated Copper Phthalocyanine Hybird Thin Fil For Dye-Sensitized Solar Cell Application*, Yili Norma University, China, 2011.





## BIOGRAFI PENULIS



### **MOHAMMAD ROHMAD W.**

lahirk pada tanggal 21 Mei 1993 di Paniai, Irian Jaya. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal sejak tahun 1998 di SD Taman Pendidikan Islam Porong, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 1 Porong pada tahun 2004 dan SMA Negeri 1 Porong pada tahun 2007, kemudian pada tahun 2010 penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya (ITS), dan mengerjakan tugas akhir di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi. Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia sebagai staff Departemen *Research and Technology* pada tahun 2011 dan sebagai *Head of Entrepreneurship Department* pada tahun 2012. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan karya tulis dan olah raga. Penulis sangat terbuka untuk diskusi mengenai karya ini dan dapat dihubungi melalui nomor telepon 085733273533 atau via email: [rohmad\\_k50@ymail.com](mailto:rohmad_k50@ymail.com).

## BIOGRAFI PENULIS



**SALMAN FARIS** dilahirkan di Tuban, Jawa Timur pada tanggal 7 Nopember 1991 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal sejak tahun 1998 di SD Negeri Jagir I Surabaya, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 12 Surabaya dan SMA Negeri 16 Surabaya, hingga kemudian melanjutkan studi di Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) dan mengerjakan tugas akhir di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi dengan bidang penelitian mengenai pelapisan tipis ZnO pada *ITO glass* untuk diaplikasikan pada *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan metode elektrodposisi. Pada tahun 2012, penulis pernah melaksanakan *On the Job Training* (OJT) atau kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi kerohanian ITS, yaitu Kajian Islam Nurul Ilmi (KINI) ITS sebagai Staff Departemen Hubungan Masyarakat pada tahun 2011, lalu sebagai Ketua Departemen Media Informasi Islam pada tahun 2012. Untuk diskusi dengan penulis dapat menghubungi ke nomor telepon 087854011107 atau via email: [salman.faris@live.com](mailto:salman.faris@live.com).